

Contribution à l'étude de la croissance du palmier à huile

Présentation d'un modèle descriptif (1)

J. C. JACQUEMARD (2) et L. BAUDOUIN (3)

Résumé. — La durée de vie économique d'une plantation de palmiers à huile est directement liée à sa vitesse de croissance. C'est pourquoi l'étude de la croissance du palmier fait l'objet de nombreuses recherches qui ont permis d'améliorer la connaissance de ce caractère. De précédentes études avaient conclu à une croissance pratiquement linéaire entre 6 et 25 ans. De nouvelles observations permettent maintenant de mettre en évidence une augmentation progressive de la vitesse de croissance qui atteint un maximum vers 10 ans, puis une diminution progressive de cette vitesse. Un modèle descriptif a été élaboré afin de rendre compte de ces variations. L'influence de la pluviométrie est discutée, ainsi que le problème de la replantation des palmeraies.

INTRODUCTION

Parmi les caractères biologiques du palmier à huile, la croissance en hauteur est, après le rendement en huile, un des plus importants du point de vue économique : au fur et à mesure que la palmeraie grandit, la récolte est de plus en plus difficile et un nombre croissant de couronnes échappe aux moyens habituels de récolte. Les pertes de productions augmentent et il devient nécessaire de replanter.

Cela a incité les sélectionneurs à rechercher un matériel végétal associant une forte production et une croissance ralentie [Surre, 1979]. D'autre part, les responsables des plantations souhaitent pouvoir déterminer la période la plus favorable pour effectuer les replantations, en tenant compte de deux facteurs : les pertes de production à la récolte et le maintien d'un niveau de production suffisant pour alimenter l'huilerie.

Pour être en mesure de résoudre ces problèmes, il est indispensable de savoir mesurer les caractéristiques essentielles de la croissance du palmier, et de savoir décrire et prévoir son évolution dans le temps et en fonction des variations de l'environnement.

Dans une première partie, nous présenterons un certain nombre de travaux de recherches antérieures sur la croissance en hauteur du palmier et sur les facteurs qui la modifient. Puis nous proposerons un modèle descriptif simple de la croissance du palmier. Enfin quelques exemples d'utilisation de ce modèle seront donnés.

I. — HISTORIQUE

1. — Biologie de la croissance.

Henry [1957] donne une description du mode de croissance du stipe du palmier à huile et le compare à celui des palmacées lianescentes et des autres végétaux. L'originalité des palmiers arborescents tient dans l'existence autour du

point végétatif d'une vaste zone méristématique qui assure l'épaississement du stipe. Ce méristème d'épaississement qui donne à l'apex du palmier une forme caractéristique en cuvette, se forme dans les premières années de la vie du jeune palmier. Il existe donc deux périodes distinctes dans la croissance du stipe. Dans les premières années, la croissance se fait exclusivement en largeur, c'est seulement lorsque le plateau méristématique a atteint son diamètre maximal que la croissance en hauteur commence. Le même auteur remarque l'existence de variations de croissance entre des environnements différents (le Bénin et la Basse Côte d'Ivoire) ainsi qu'entre individus dans un même environnement.

Les facteurs qui agissent sur la vitesse de croissance ont été étudiés par de nombreux auteurs :

a) Facteurs génétiques.

Beirnaert et Vanderweyen [1941] notent que la croissance du stipe ne diffère pas entre les variétés *dura* et *tenera*. Cependant, les palmiers *pisifera* abortifs ont une croissance plus rapide. D'autre part, on connaît un certain nombre de variétés à croissance lente : ainsi, le « Dumpy » qui se caractérise, en plus de sa faible vitesse de croissance, par un stipe épais. Les descendants du palmier I-2T de Pobé montrent également une tendance marquée au nanisme. Il convient aussi de citer une autre source de variabilité : le palmier à huile américain *Elaeis oleifera* dont la croissance extrêmement lente domine partiellement celle d'*Elaeis guineensis* chez l'hybride interspécifique [Meunier et Hardon, 1976].

Frémond [1950] n'observe pas de corrélation entre la croissance et le rendement. Cependant, certaines observations indiquent qu'il existe probablement une relation avec la précocité [IRHO, 1957 ; Breure et Corley, 1983].

b) Facteurs édaphiques.

Les facteurs qui affectent la photosynthèse ont un effet indirect sur la croissance : température, lumière, humidité en particulier. Jacquemard [1979], comme d'autres auteurs, observe d'importantes différences de croissance entre sites de plantation pour un même matériel végétal. La principale cause de ces différences provient des niveaux de pluviosité prévalant dans les différents sites.

(1) Communication présentée aux « 1987 International oil palm/palm oil Conferences, Progress and prospects », 23-26 juin 1987 à Kuala Lumpur (Malaisie).

(2) Station de recherche de La Mé, B.P. 13 Bingerville (Côte d'Ivoire).

(3) Généticien IRHO-CIRAD, B.P. 5035, 34032 Montpellier Cedex (France).

Une forte densité de plantation, provoquant une compétition pour la lumière entraîne une accélération de croissance [Breure, 1982]. Cette accélération est accompagnée d'une réduction du nombre de palmes produites, et donc d'un allongement des entre-nœuds. Par contre, un ombrage intense entraîne un fort ralentissement de la croissance [Hartley, 1967].

D'autres travaux portent sur l'effet des variations du milieu sur le taux d'émission foliaire. On peut citer un effet de la pluviosité, de la fertilité des sols (mais dans ce dernier cas, Breure [1982] n'observe pas d'effet sur la croissance), de la castration (à rapprocher du cas des *pisifera* stériles) et d'une forte défoliation [Corley *et al.*, 1976]. Peu d'études portent en revanche sur la longueur de l'entre-nœud.

2. — Cinétique de la croissance.

La croissance du palmier à huile se mesure habituellement par observation directe en prenant pour référence une feuille déterminée. La feuille 33 se révèle la plus pratique à l'usage [Jacquemard, 1980]. Cependant Noiret et Gascon [1967] proposent une méthode indirecte, l'utilisation du rapport :

$$V = \frac{100 \times \text{nombre de feuilles émises en un an}}{\text{nombre de bases pétiolaires sur un mètre de stipe}}$$

les bases pétiolaires étant comptées de 0,5 à 1,5 mètre. A l'intérieur d'un croisement, la corrélation entre croissance calculée et vitesse de croissance observée est excellente. Entre vitesse calculée et hauteur atteinte à un âge donné, la corrélation (voisine de 0,8 comme précédemment) se retrouve aussi bien à l'intérieur de chaque croisement qu'entre croisements. Toutefois, il est à noter que les valeurs calculées sont toujours très inférieures aux résultats des observations faites autour de 13 ans. Cette différence est due à l'allongement des entre-nœuds avec l'âge.

Jacquemard [1979] présente une étude détaillée de la hauteur du croisement L2T × D10D, planté dans de nombreux essais de la station de La Mé à titre de témoin. Il observe trois phases : de 0 à 3 ans, le palmier est acaule : la croissance se fait uniquement en diamètre ; de 3 à 6 ans : décollage et augmentation progressive de la vitesse de croissance ; enfin, de 6 à 25 ans : la vitesse de croissance semble stabilisée.

A l'occasion d'une seconde série de mesures effectuées sur les mêmes arbres [Jacquemard, 1980], l'évolution de la vitesse de croissance a pu être précisée : à la phase d'accélération succède une phase de ralentissement progressif de la croissance qui débute après 10 ans. Cette observation est confirmée par l'étude des palmiers âgés dont la hauteur est nettement inférieure à celle calculée à partir de la vitesse de croissance vers 10 ans.

Des observations répétées ont donc permis de se rendre compte que la cinétique de la croissance en hauteur du palmier est plus complexe qu'on ne l'imaginait au départ. Il devient donc nécessaire de rechercher un modèle susceptible de rendre compte précisément des évolutions observées avec l'âge, afin de pouvoir réaliser des comparaisons valables entre lignées ou entre environnements différents, et de pouvoir faire des prévisions fiables suffisamment longtemps à l'avance.

II. — MÉTHODES D'OBSERVATIONS ET MATÉRIEL VÉGÉTAL

La méthode utilisée pour mesurer la hauteur du stipe est décrite par Jacquemard [1980]. Le matériel de mesure est constitué par une équerre métallique fixée à une perche de longueur adéquate, et un double décimètre-ruban. Le zéro du double décimètre est placé en face du bas de la branche horizontale de l'équerre.

Cette branche est glissée à l'aisselle de la feuille 33 et la hauteur est lue au niveau du sol, au centimètre près. La feuille 33 est située sur la même spire que la dernière feuille ouverte (feuille 1), en 5° position. Le choix de cette feuille comme référence résulte de considérations pratiques car elle est située approximativement au niveau des régimes mûrs.

Les premières mesures sur les croisements plantés à La Mé entre 1959 et 1963 ont été réalisées à la feuille 57 avant l'adoption de la feuille 33 comme référence. On a choisi de corriger l'âge de cette mesure en fonction du taux d'émission foliaire (EF) mesuré en 1970 :

$$\text{Age corrigé} = \text{âge réel} - \frac{(57 - 33)}{\text{EF}}$$

Ce qui revient à se placer à une date où la feuille mesurée aurait été la feuille 33.

Environ 50 arbres ont été mesurés sur chaque lignée.

Pour étudier la cinétique de la croissance on a réalisé deux séries de mesures, en 1979 et 1981, sur 13 répétitions du croisement L2T × D10D plantées lors de 12 années différentes à La Mé.

Enfin, des mesures ont été réalisées dans différentes stations en Afrique (Pobé-Bénin, Mondoni-Cameroun) et en Asie du Sud-Est (Aek Kwasan-Indonésie et Johore-Labis-Malaisie) pour estimer les effets de l'environnement sur la croissance. Le déficit hydrique moyen dans chacune de ces stations a été calculé selon la méthode simplifiée de calcul du bilan de l'eau, proposée par Surre [1968].

III. — RÉSULTATS

1. — Evolution de la vitesse de croissance.

Le tableau I résume les observations faites sur le croisement L2T × D10D. Pour toutes les années de plantation, la vitesse de croissance de ce croisement a été mesurée sur la même période mars 1979-décembre 1981. La principale cause de variation est donc l'âge des arbres : on constate que la croissance, lente à 5 ans, s'accélère jusque vers 10 ans, puis ralentit progressivement : vers 30 ans elle représente environ 70 p. 100 du maximum.

L'analyse de l'évolution de la vitesse de croissance en fonction de l'âge met clairement en évidence ces variations. La courbe de croissance du palmier apparaît donc comme une sigmoïde très redressée plutôt que comme une droite. Ce type de courbe s'observe très fréquemment lorsqu'on étudie les processus de croissance. Le ralentissement observé peut s'expliquer par une plus grande difficulté à exploiter le milieu lorsque l'organisme grandit, ou encore par l'apparition de phénomènes de sénescence qui peuvent se manifester très tôt.

Un cas particulier bien connu de courbe de croissance est la loi logistique. Elle permet de décrire l'évolution de certaines populations de microorganismes. Elle est égale-

ment apte à décrire la croissance d'organismes ou d'organes à croissance définie.

TABEAU I. — Hauteur du stipe jusqu'à la base de la feuille 33 et vitesse de croissance en hauteur du croisement L2T × D10D sur la Station de La Mé
(Height of stem at the base of leaf 33 and vertical growth rate of the cross L2T × D10D at the La Mé Station)

Année de plantation (Planting year)	Hauteur (Height measured) (m)		Vitesse de croissance (Growth rate) (cm/an/yr)
	Mars (March) 1979	Déc. 1981	
1949	11,19	12,38	42,0
1951	10,61	11,60	35,0
1951	10,18	11,21	36,5
1961	6,73	8,11	48,9
1962	6,44	7,50	49,7
1963	5,63	6,95	46,6
1964	4,97	6,62	51,2
1968	3,49	4,96	52,0
1970	2,63	4,04	49,8
1971	1,67	3,25	55,7
1972	1,45	2,93	52,5
1973	0,92	2,34	50,1
1975	0,34	1,46	39,5

2. — Modélisation de la croissance.

a) Le modèle.

Le modèle choisi pour représenter la courbe de croissance du palmier est basé sur la relation suivante entre la taille et l'âge :

$$H = c \exp(-bt^{-k})$$

où H est la hauteur du stipe, t est le temps et c, b et k des paramètres.

La signification des paramètres b et c apparaît si l'on étudie leur effet sur la position du point d'inflexion de la courbe de croissance. Ce point correspondant au moment où la vitesse de croissance est maximale (Tabl. II, Fig. 1) :

— plus c est élevé, plus la hauteur atteinte au point d'inflexion et la vitesse maximale de croissance (Vmax) sont grandes. Par contre, c n'a pas d'influence sur l'âge auquel ce point est atteint ; c représente également la limite théorique de la hauteur quand t tend vers l'infini ;

— plus b est élevé, plus le point d'inflexion est atteint tardivement, et plus la vitesse maximale de croissance est faible ; b n'a pas d'influence sur la hauteur atteinte au point d'inflexion.

Les courbes de la figure 1 permettent de constater que le rôle du paramètre b se fait surtout sentir au début de la croissance : ce sont les courbes B et D qui décollent le plus tardivement.

Le paramètre k intervient à la fois sur la position du point d'inflexion et sur la forme de la courbe. Il agit principalement sur la pente au point d'inflexion. Des valeurs élevées de k correspondent à de fortes variations de la vitesse de croissance (courbe en S), en revanche des valeurs de k proches ou inférieures à 0,5 entraînent des croissances presque linéaires (Fig. 2, Tabl. II).

Les caractéristiques d'une courbe de croissance d'un matériel végétal donné s'estiment de la façon suivante, à

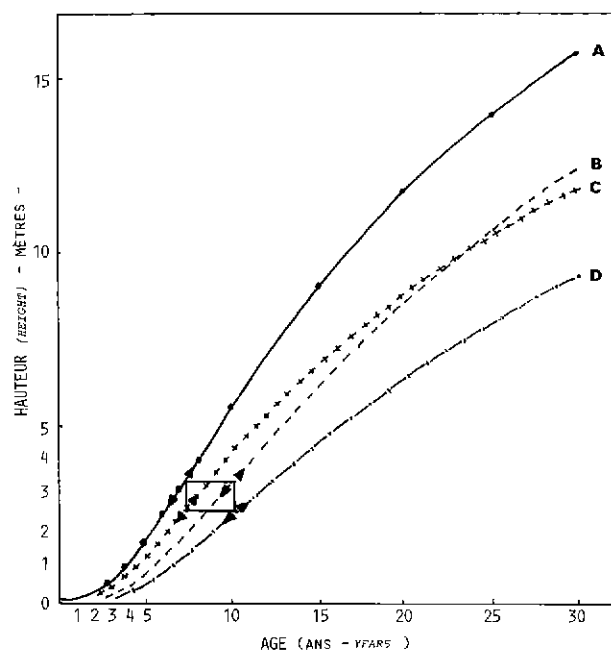


FIG. 1 — Simulation de la croissance en hauteur. Effet des variations de c et b (Vertical growth simulation. Effect of variations in c and b)

A : b = 9,5 ; c = 40
B : b = 12,0 ; c = 40

C : b = 9,5 ; c = 30
D : b = 12,0 ; c = 30

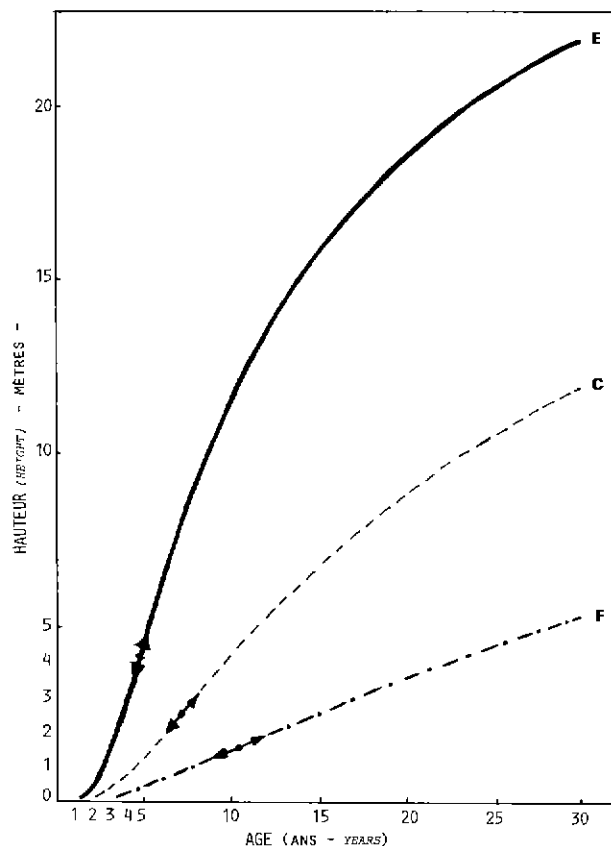


FIG. 2. — Simulation de la croissance en hauteur. Effet des variations de k (Vertical growth simulation. Effect of variations in k)

C : k = 0,685
E : k = 1,0
F : k = 0,5

TABLEAU II. — Caractéristiques de quelques courbes de croissance simulées

(Characteristics of a few simulated growth curves)
 $H = c \exp(-bt^{-k})$

Paramètres (Parameters)	Courbes (Curves)					
	A	B	C	D	E	F
k	0,685	0,685	0,685	0,685	1,000	0,500
b	9,5	12,0	9,5	12,0	9,5	9,5
c	40	40	30	30	30	30
Point d'inflexion (Point of inflection)						
Ti (an) (yrs)	7,19	10,11	7,19	10,11	4,75	10,03
Hi (mètres)	3,42	3,42	2,56	2,56	4,06	1,49
Rmax. (cm/an - /yr)	80	57	60	43	170	22
Age à 12 m (ans - yrs)	20,4	28,7	30,4	42,7	10,4	107,5

partir des observations réalisées : on se fixe une valeur de k *a priori*, on détermine c et b par régression linéaire en utilisant la transformation logarithmique suivante :

$$\text{Log } H = \text{Log } c - bt^{-k}.$$

On répète ce processus pour différentes valeurs de k et on choisit la valeur de k qui minimise le carré moyen résiduel. On peut ensuite calculer la vitesse maximale de croissance et la durée de vie économique de la plantation (âge correspondant à une hauteur de 12 m par exemple).

b) Application à la lignée témoin de La Mé.

Les observations réalisées sur L2T × D10D à La Mé, en 1979 et 1981 ont fait l'objet de deux ajustements séparés (Tabl. III, Fig. 3). Les deux courbes calculées sont presque

TABLEAU III. — Ajustement du modèle aux observations réalisées à La Mé sur la lignée témoin L2T × D10D

(Adjustment of model to observations made at La Mé on L2T × D10D characteristics of calculated vertical growth curves)

Paramètres (Parameters)	Courbes (Curves)	
	Mars (March) 1979	Déc. 1981
k	0,6002	0,5446
b	11,12	10,12
c	47,82	56,10
Point d'inflexion (Point of inflection)		
Ti (ans - yrs)	10,80	10,34
Hi (mètres)	3,32	3,29
Rmax. (cm/an - /yr)	49,3	49,2
Age à 12 m (ans - yrs)	32,2	31,6

confondues et sont en accord avec les données. On notera en particulier le démarrage progressif de la croissance et son infléchissement au-delà de 20 ans.

Les variations de la vitesse de croissance sont beaucoup plus prononcées comme l'indiquent les courbes représentatives de la vitesse de croissance tracées sur le même graphique (Fig. 3). Il s'agit tout simplement des dérivées des courbes de croissance. Elles intègrent donc toute la croissance depuis la plantation jusqu'en 1979 ou en 1981. Les vitesses observées ne concernent que la période 1979-1981. En dépit de cette différence, les courbes calculées reproduisent fidèlement l'évolution de la vitesse de croissance observée (avec un léger décalage qui indique que la crois-

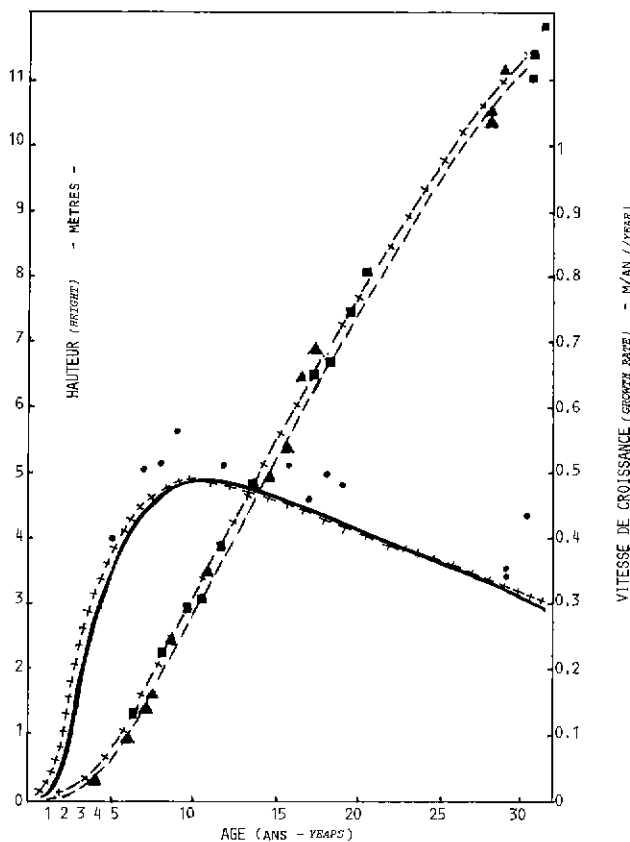


FIG. 3. — Croissance de L2T × D10D. Hauteur et vitesse de croissance (Growth of L2T × D10D. Height and rate of growth).

- ▲ — — — Hauteur des plant., mesure de 1979 (Height of 1979 planting).
- — — — Hauteur des plant., mesure de 1981 (Height of 1981 planting).
- — — Vitesse de croissance des plant., estimée à partir de 1979 (Growth rate 1979).
- + + + + + Vitesse de croissance des plant., estimée à partir de 1981 (Growth rate 1981).
- Vitesse de croissance des plant. observée entre 1979 et 1981 (Growth rate 1979/1981).

sance a été sensiblement plus rapide entre 1979 et 1981 que pendant la période précédente, peut-être à cause de conditions climatiques plus favorables).

Il s'avère donc que les variations de vitesse de croissance observées sont effectivement dues aux différences d'âge et qu'il ne s'agit pas de fluctuations dues à des facteurs non contrôlés.

c) Généralisation de l'application du modèle.

Une étude a été réalisée à partir des mêmes données sur le croisement témoin L2T × D10D afin de déterminer le nombre d'observations nécessaires pour estimer les paramètres de la courbe. Il apparaît indispensable de disposer d'au moins 4 observations convenablement réparties autour du point d'inflexion.

On ne possède à l'heure actuelle que peu de séries de données satisfaisant ces conditions. Cependant, de nombreuses observations démontrent que les conclusions tirées à propos de L2T × D10D ont une valeur générale chez le palmier :

— on a calculé une estimation globale du paramètre k à partir de 13 croisements Déli × La Mé plantés à La Mé entre 1959 et 1963. Une valeur moyenne de 0,685 a été obtenue. Les courbes de croissance calculées sont compatibles avec les observations. Cependant, des études par croisement aboutissent à une variabilité importante pour le paramètre k . Ces variations peuvent être attribuées à des

différences génétiques entre croisements ou à une imprécision due à un nombre insuffisant de mesures, particulièrement dans le jeune âge. Il est pour l'instant difficile de dire lequel de ces facteurs est prépondérant ;

— le tableau IV résume les résultats de trois séries de mesures effectuées sur 24 croisements Déli × La Mé plantés à La Mé. Il confirme qu'après 9-10 ans, la vitesse de croissance diminue : la vitesse observée entre les deux dernières séries de mesures (Vbc) est toujours inférieure à celle mesurée entre les deux premières séries (Vab).

Au tableau V figurent des observations de croissance réalisées à la Station d'Aek Kwasan (Sumatra, Indonésie) sur le croisement témoin L2T × D10D et sur 3 reproductions Déli × La Mé représentées chacune par 8 croisements. Ces matériels ont des courbes de croissance différentes. Ainsi, le croisement témoin a une croissance relativement faible jusqu'à 6 ans. Par la suite sa vitesse de croissance s'accélère : à 10 ans, sa hauteur est significativement supérieure à celle de la reproduction L2T AF × D115D AF. Le croisement témoin est caractérisé par un point de décollage plus tardif. Une bonne approximation de ce point peut être donnée par l'intersection de la droite joignant les hauteurs à 6 et 10 ans avec l'axe des âges.

Nous constatons à l'aide de ces quelques exemples qu'il est impossible de rendre compte de l'ensemble des caractéristiques de la croissance du palmier à l'aide d'une seule mesure.

TABLEAU IV. — Observation de la vitesse de croissance en hauteur de 24 croisements Déli × La Mé sur la station de La Mé
(Observation of vertical growth rate in 24 Déli × La Mé crosses at the La Mé Station)

Date de plantation (Planting date)	Nbre de croisements (No. of crosses)	Hauteur (Height measured)					Vitesse de croissance (Growth rate)	
		a			b	c	Vab (Rab) (cm/an - /year)	Vbc (Rbc)
		Sept. 1970 m	Mai (May) 1971 m	Août (Aug.) 1973 m	Sept. 1978 m	Janv. 1983 m		
1959	Mai (May)	2	2,49		6,26	7,58	47	31
1960		2	1,92		6,23	7,34	54	26
1961		4	1,74		6,22	7,78	56	36
1962		7		1,83	5,59	7,44	57	33
1962	Oct.	3		1,55	5,82	7,53	58	39
1963	Mai (May)	3		2,14	5,20	7,15	60	45
1963	Oct.	3		1,83	4,73	6,46	57	40

Vab (Rab) = Vitesse de croissance entre les 2 premières séries de mesures (Rate of growth between the first two sets of measurements).

Vbc (Rbc) = Vitesse de croissance entre les 2 dernières séries de mesures (Rate of growth between the last two sets of measurements).

TABLEAU V. — Comparaison de la croissance en hauteur pour des reproductions de croisements Déli × La Mé dans l'essai :
(Comparison of the vertical growth for reproductions of Déli × La Mé crosses in trial :)
AK-GP 3 (Aek Kwasan)

Reproduction	Nbre de croisements (No. of crosses)	Hauteur (Height)		Vitesse de croissance (Rate of growth) (cm/an - /yr)	Point de décollage (Take-off point) (ans - years)
		6 ans (yrs) (m)	10 ans (yrs) (m)		
L2T Self × L404D Self	8	153,6	375,0	55,3	3,22
L2T Self × D115D Self	8	148,2	335,4	46,8	2,83
L2T Self × (L404D × D10D)	8	155,1	378,6	55,9	3,22
Lignée témoin (Control cross) (L2T × D10D)	1	142,2	367,3	56,4	3,48

TABLEAU VI. — Vitesse de croissance en hauteur du croisement L2T × D10D en différents environnements
(Vertical growth rate of cross L2T × D10D in different environments)

Station		Déficit hydrique moyen (Mean water Deficit) (mm/an - /yr)	Age (ans - years)	Hauteur (Height) (cm)	P. 100 La Mé ajusté s./données 1979 (1979 adjust.)
Pobé	(Bénin)	610	9	163	64,2
			15	395	72,5
Mondoni	Cameroun (Cameroon)	391	7,9	176	89,6
			8,9	199	81,6
			9,9	251	85,7
			10,4	276	88,3
Aek Kwasan	Nord Sumatra (North Sumatra)	30	6,0	144	142,9
			10,0	385	131,1
Johore Labis	Malaisie (Malaysia)	25	16,8	808	131,0

En revanche, à partir de 3 ou 4 mesures, le modèle proposé permet de prendre en compte la diminution de la vitesse de croissance des palmiers adultes et le fait que la date de décollage varie selon le matériel végétal.

3. — Effets de l'environnement.

Le tableau VI présente des mesures de hauteur réalisées sur le croisement L2T × D10D dans 4 plantations. Ces mesures sont comparées avec la hauteur du même croisement à la station de La Mé au même âge (d'après la courbe ajustée sur les données de 1979, Fig. 3). Cette comparaison fait apparaître d'importantes différences entre stations, qui sont mises en relations avec l'importance du déficit hydrique dans le tableau VI.

Il existe également des différences de croissance à l'intérieur d'une même station. Ainsi, la valeur donnée pour Aek Kwasan à 6 ans est la moyenne de 10 répétitions dont les résultats varient de 1,16 m sur les terrains les moins favorables à 1,57 m sur les meilleurs sols.

La croissance du palmier est donc fortement influencée par les effets de l'environnement, et en particulier par la pluviométrie. A cet égard, le modèle proposé, qui ne prend en compte que l'âge comme facteur de variation, pourrait être complété en affectant la croissance annuelle d'un coefficient correcteur caractérisant la pluviométrie et les autres facteurs de l'environnement. Toutefois ceci suppose au préalable une bonne connaissance des caractéristiques de croissance de plusieurs matériels dans des environnements différents.

IV. — DISCUSSION

L'intérêt porté à l'étude de la croissance du palmier et à son utilisation comme critère de sélection est déjà ancien. Cependant, ce n'est que depuis quelques années que l'on commence à avoir une vue d'ensemble de son évolution

avec l'âge. Les nombreuses observations réalisées sur la lignée témoin de l'IRHO (L2T × D10D) mettent en évidence une diminution progressive de la vitesse de croissance avec l'âge.

Un modèle simple de croissance a été établi pour décrire cette évolution. Il rend convenablement compte des observations, et cela que l'on considère les relations entre hauteur et âge ou celles entre vitesse de croissance et âge. Il a pu être appliqué au croisement L2T × D10D ainsi qu'à une vingtaine d'autres. Cependant, dans bien des cas, un nombre trop faible de mesures ou leur mauvaise répartition dans le temps se traduisent par une imprécision sur les paramètres. En effet, pour obtenir un ajustement précis, il est nécessaire de disposer d'un nombre suffisant de mesures (4 au minimum).

Dans son état actuel, ce modèle ne tient pas compte de facteurs exogènes tels que la pluviométrie. Cependant, on pourra envisager de les introduire comme facteurs correctifs, lorsqu'on en aura une meilleure connaissance.

Pour le généticien, le premier critère de sélection reste la vitesse maximale de croissance qui peut s'estimer par des mesures réalisées autour de 10 ans. Il y a lieu de s'intéresser également à la phase de diminution de la vitesse de croissance. Plus celle-ci se fait rapidement, plus la durée de vie économique de la plantation est prolongée. Un troisième facteur est à prendre en compte, l'homogénéité du matériel végétal : avec des caractéristiques de croissance moyennes identiques, les arbres non récoltables apparaîtront plus rapidement dans un croisement hétérogène que dans un croisement homogène.

La programmation des replantations exige de tenir compte des mêmes facteurs. On pourra y parvenir en mesurant plusieurs fois un même échantillon d'arbres convenablement répartis dans le bloc considéré. On pourra alors déterminer à quelle date une certaine proportion des arbres (30 p. 100 par exemple) aura atteint la hauteur maximale acceptable. La précision de cette estimation pourra être améliorée par des mesures ultérieures, toujours effectuées sur le même échantillon.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] BEIRNAERT A. et VANDERWEYEN R. (1941). — Contribution à l'étude génétique et biochimique des variétés d'*Elaeis guineensis* (Jacq.). INEAC série scientifique, N° 27
- [2] BREURE C. J. (1982). — Factors affecting yield and growth of oil palms in West New Britain. In : *The oil palm in agriculture in the eighties*. Vol. 1 (p. 109-130). Incorporated Society of planters, Kuala Lumpur.

- [3] BREURE C. J. and CORLEY R. H. V. (1983). — Selection of oil palms for high density planting *Euphytica*, 32, p. 177-186
- [4] CORLEY R. H. V., HARDON J. J., WOOD B. J. (1976). — *Oil palm research*. Elsevier scientific publishing company, Amsterdam, 532 p.
- [5] FREMOND (1950). — Hauteur des arbres-mères et sélection *IRHO, Note intérieure*.
- [6] HARTLEY C. S. W. (1967). — The oil palm. *Tropical agriculture series*, Longman, Bristol, 750 p.
- [7] HENRY P. (1957). — Recherches sur la croissance et le développement chez *Elaeis guineensis* Jacq. et chez *Cocos nucifera* L. Comparaison avec quelques autres palmiers. Thèse d'Etat, Université de Paris, 154 p.
- [8] IRHO (1957). — *Rapport annuel 1957*.
- [9] JACQUEMARD J. C. (1979). — Contribution à l'étude de la croissance du stipe d'*Elaeis guineensis* Jacq. Etude du croisement L2T × D10D (bilingue fr.-angl.). *Oléagineux*, 34, N° 11, p. 492-497.
- [10] JACQUEMARD J. C. (1980). — Croissance de la lignée témoin L2T × D10D. *IRHO, note intérieure*.
- [11] MEUNIER J. and HARDON J. J. (1976). — Interspecific hybrids between *Elaeis guineensis* and *Elaeis oleifera*. In: *Oil Palm Research* (R. H. V. CORLEY, J. J. HARDON and B. J. WOOD, eds.) Elsevier, Amsterdam
- [12] NOIRET J. M. et GASCON J. P. (1967). — Contribution à l'étude de la hauteur et de la croissance du stipe d'*Elaeis guineensis* (Jacq.). Application à la sélection du palmier à huile. *Oléagineux*, 22, N° 11, p. 661-664.
- [13] SURRE C. (1968). — Les besoins en eau du palmier à huile. Calcul du bilan de l'eau et ses applications pratiques (Conseils de l'IRHO N° 71). *Oléagineux*, 23, N° 3, p. 165-167.
- [14] SURRE C. (1979). — Croissance en hauteur du palmier à huile (bilingue fr.-angl.). *Oléagineux*, 34, N° 11, p. 491.

SUMMARY

Contribution to the study of oil palm vertical growth. A descriptive model.

J. C. JACQUEMARD, L. BAUDOUIN, *Oléagineux*, 1987, 42, N° 10, p. 343-351.

The economic life of an oil palm plantation is directly linked to its rate of growth. Oil palm growth has thus been the subject of much research, which has led to a better knowledge of this character. Previous studies concluded that growth was practically linear between 6 and 25 years. New observations now make it possible to see a gradual increase in the rate of growth, reaching a maximum at around 10 years, followed by a gradual reduction. A descriptive model has been created to take these variations into account. The effect of rainfall is discussed, along with the problem of plantation replanting.

RESUMEN

Contribución en el estudio del crecimiento de la palma africana. Presentación de un modelo de descripción.

J. C. JACQUEMARD, L. BAUDOUIN, *Oléagineux*, 1987, 42, N° 10, p. 343-351.

La vida económicamente útil de una plantación de palma africana se relaciona directamente con su velocidad de crecimiento. Por tal motivo el estudio del crecimiento de la palma fué objeto de numerosas investigaciones que permitieron mejorar el conocimiento de este carácter. De los estudios anteriores se había llegado a la conclusión de que el crecimiento era casi lineal entre los 6 y los 25 años. Nuevas observaciones permiten evidenciar ahora un aumento progresivo de la velocidad de crecimiento, que alcanza un nivel máximo hacia los 10 años, y luego disminuye poco a poco. Se ha elaborado un modelo de descripción a fin de dar cuenta de estas variaciones. Se discute la influencia de la pluviometría, como también el problema de la renovación de los palmerales.

Contribution to the study of oil palm vertical growth

A descriptive model (1)

J. C. JACQUEMARD (2) and L. BAUDOUIN (3)

INTRODUCTION

From an economic point of view, vertical growth is one of the most important biological characters of the oil palm, after oil yield. As the oil palm grows in height, harvesting becomes more and more difficult and an increasing number of crowns escape the usual harvesting methods. Production losses increase and replanting becomes necessary.

This led breeders to seek planting material which combines high yields and slow vertical growth [Surre, 1979]. In addition, the people in charge of plantations wish to be able to determine the most suitable period for replanting, bearing in mind two factors : production losses on harvesting and the maintenance of a sufficient production level to keep the oil mill going.

To solve these problems, it is essential to know how to measure the basic characteristics of oil palm growth and to describe and forecast its evolution over time, depending on environmental variations.

The first part of this paper will describe a certain amount of previous research work on oil palm vertical growth, along with the factors which modify it. A simple descriptive model of oil palm growth will then be proposed. Finally, a few examples will be given of how this model is used.

I. — PREVIOUS STUDIES

1. — Biology of growth.

Henry [1957] describes the growth of the oil palm stem and compares it to that of climbing palms and other plants. The originality of arborescent palms lies in the existence of a vast meristematic zone around the growing point ; this zone ensures stem thickening. This thickening meristem, which gives the oil

(1) Communication presented at « 1987 International oil palm/palm oil Conferences, Progress and prospects », 23-26 June 1987, Kuala Lumpur (Malaysia).

(2) La Mé Research Station. B.P. 13, Bingerville (Côte d'Ivoire).

(3) Genetician, IRHO-CIRAD. B.P. 5035, 34032 Montpellier Cedex (France).

palm apex its characteristic basin-like form, develops in the initial years of the oil palm's life. Hence, there exist two distinct periods in stem growth. In the early years, growth is limited to stem thickening and it is only when the meristematic depression has reached its maximum diameter that vertical growth begins. The same author also notes the existence of growth variations between different environments (Benin and Lower Côte d'Ivoire), as well as between individuals in the same environment.

The factors affecting growth rate have been studied by numerous authors :

a) Genetic factors.

Beirnaert and Vanderweyen [1941] note that there is no difference in stem growth between the *dura* and *tenera* varieties. However, aborting *pisifera* oil palms grow more rapidly. In addition, a certain number of slow growing varieties are known : such as the « Dumpy » which is characterized by both its slow vertical growth and its thick stem. The progenies of the Pobé 1-2 T oil palm also show a marked tendency towards Dwarfism. It is also worth mentioning another source of variability : the American oil palm *Elaeis oleifera*, whose extremely low vertical growth partially dominates that of *Elaeis guineensis* in the interspecific hybrid [Meunier and Hardon, 1976].

Fremond [1950] observes no correlation between growth and yield. However, certain observations indicate that there is probably a relationship with precocity [IRHO, 1957 ; Breure and Corley, 1983].

b) Edaphic factors.

The factors affecting photosynthesis have a direct effect on growth : temperature, light and humidity in particular. Jacquemard [1979], along with other authors, observes considerable differences in growth between planting sites for the same planting material. The main cause of these differences lies in the rainfall level prevalent in the various sites.

A high planting density, leading to competition for light, results in growth acceleration [Breure, 1982]. This acceleration is accompanied by a reduction in the number of fronds produced and thus a lengthening of internodes. However, intense shading slows down growth considerably [Hartley, 1967].

Other research work has concentrated on the effect of environmental variations on the rate of leaf emission. Worth mentioning are the effects of rainfall and soil fertility (though Breure [1982] observes no effect on growth in this latter case), castration (to be compared with the case of sterile *pisifera* palms) and heavy defoliation [Corley *et al.*, 1976]. However, few studies deal with internode length.

2. — Kinetics of vertical growth.

Oil palm vertical growth is usually measured through direct observations, taking a predetermined leaf as a reference point. Leaf 33 proves to be the most practical one to use [Jacquemard, 1980]. However, Noiret and Gascon [1967] proposed an indirect method using the ratio :

$$V = \frac{100 \times \text{number of leaves emitted in one year}}{\text{number of petiole bases on one metre of stem}}$$

with the petiole bases counted from 0.5 to 1.5 m. Within a cross, the correlation between calculated vertical growth and observed growth rate is excellent. The correlation between the calculated rate and the height reached at a given age (around 0.8 as previously) is found both within each cross and between crosses. Nonetheless, it should be noted that the calculated values are always much lower than shown by observations made around 13 years. This difference is due to the lengthening of internodes with age.

Jacquemard [1979] has produced a detailed study of the height of the cross L2T × D10D, which has been planted as a control in numerous trials at the La Mé station. He observes 3 phases : from 0 to 3 years the oil palm is acaulescent and growth is limited to increase in diameter ; from 3 to 6 years, vertical growth rate takes off and gradually increases ; finally, from 6 to 25 years, vertical growth rate seems to be stabilized.

When a second set of measurements was made on the same trees [Jacquemard, 1980], it was possible to determine the evolution of the vertical growth rate : the acceleration phase is followed by a phase starting at around 10 years when growth gradually slows down. This observation is confirmed by the study

of old oil palms, whose height is distinctly lower than that calculated from the vertical growth rate at around 10 years old.

It has thus been possible to show, through repeated observations, that the kinetics of oil palm vertical growth is much more complex than originally believed. It therefore becomes necessary to find a model which is likely to take precisely into account the evolution observed with age, so that valid comparisons can be made between different families or environments and so that reliable forecasts can be made far enough in advance.

II. — OBSERVATION METHODS AND PLANTING MATERIAL

The method used for measuring stem height is described by Jacquemard [1980]. The measuring apparatus consists of an angle iron attached to a sufficiently long pole, along with a 20 metre tape measure. The zero of the tape measure is placed to coincide with the bottom edge of the horizontal arm of the angle iron.

This arm is slid into the axil of leaf 33 and the height is read off at ground level, to the nearest centimetre. Leaf 33 is on the same spiral as the last leaf to open (leaf 1), in 5th position. The choice of this leaf as a reference point results from practical considerations, as it is approximately located at the level of the ripe bunches.

The initial measurements made on the crosses planted at La Mé between 1959 and 1963 were taken using leaf 57, before leaf 33 was adopted as the reference point. It has been decided to correct the age to this measurement in accordance with the leaf emission (LE) rate measured in 1970 :

$$\text{Corrected age} = \text{Actual age} - \frac{(57-33)}{\text{LE}}$$

Which amounts to adopting a date when the leaf measured would have been leaf 33.

Around 50 trees from each family were measured.

To study the kinetics of vertical growth, two sets of measurements were taken, in 1979 and 1981, on 13 replications of the cross L2T × D10D planted in 12 different years at La Mé.

Finally, measurements were taken at different stations in Africa (Pobé-Bénin, Mondou-Cameroon) and in Southeast Asia (Aek Kwasan-Indonesia and Johore-Labis-Malaysia) to estimate the effects of the environment on growth. The mean water deficit at each of these stations was calculated using the simplified method of calculating the water balance proposed by Surre [1968].

III. — RESULTS

1. — Evolution of vertical growth rate.

Table I summarizes the observations made on cross L2T × D10D. For all planting years, the vertical growth rate of this cross was measured over the same period — March 1979 to December 1981. The main cause of variation is therefore the age of the trees : it is seen that vertical growth, which is slow at 5 years, accelerates up to 10 years, then slows down gradually : at around 30 years it reaches approximately 70 p. 100 of the maximum.

An analysis of growth rate evolution according to age clearly brings out these variations. The oil palm growth curve thus takes the form of a very erect sigmoid rather than a straight line. This type of curve is very often seen when studying growth processes. The slowdown observed can be explained through the greater difficulty in exploiting the environment as the organism grows, or through the appearance of senescence phenomena which can occur very early.

A particularly well-known case of a growth curve is the logistic function. It makes it possible to describe the evolution of certain micro-organism populations. It is also capable of describing the growth of organisms or organs with defined growth.

2. — Modelling of growth.

a) The model.

The model chosen to represent the oil palm growth curve is based on the following relation between height and age :

$$H = c \exp(-bt^{-k})$$

where H is the height of the stem, t is the time and c , b and k are parameters.

The significance of parameters b and c becomes clear if their effect on the position of the growth curve's point of inflection is examined. This point corresponds to the moment when vertical growth rate is maximum (Table II, Fig. 1) :

— the greater the value of c , the higher the height reached at the point of inflection and the greater the maximum vertical growth rate (R_{max}). However, c has no effect on the age at which this point is reached. The theoretical height limit is also represented by c when t tends towards infinity ;

— the greater the value of b , the later the point of inflection is reached, and the lower the maximum growth rate. The height reached at the point of inflection is not affected by b .

The curves in figure 1 show that the role of parameter b is particularly evident at the start of vertical growth : curves B and D take off later.

Parameter k is involved in both the position of the point of inflection and in the form of the curve. It mainly influences the slope of the tangent at the point of inflection. High k values correspond to considerable variations in growth rate (S shaped curve) ; on the other hand, k values around 0.5 or under lead to almost linear growth (Table II, Fig. 2).

The characteristics of a growth curve for a given type of planting material are estimated as follows, based on the observations made : a k value is fixed beforehand, c and b are determined by linear regression using the following logarithmic transformation :

$$\text{Log } H = \text{Log } c - bt^{-k}.$$

This process is repeated for different k values and the k value which minimizes the residual mean square is chosen. It is then possible to calculate maximum growth rate and the length of the plantation's economic life (e.g. age corresponding to a height of 12 m).

b) Applying the model to the control cross at La Mé.

The observations carried out at La Mé on L2T × D10D in 1979 and 1981 underwent two separate adjustments (Table III, Fig. 3). The two curves calculated virtually merge and tally with the data. The gradual start of vertical growth and its inflection beyond 20 years can be seen.

Variations in the growth rate are much more pronounced, as can be seen from the curves which are representative of growth rate plotted on the same graph (Fig. 3). They are simply derivatives of the growth curves. They therefore integrate total growth from planting up to 1979 or 1981. The growth rates observed only concern the period 1979-1981. Despite this difference, the calculated curves faithfully reproduce the evolution of growth rate observed (with a slight shift indicating that growth was significantly faster between 1979 and 1981 than during the previous period, perhaps because of more favorable climatic conditions).

The growth rate variations observed therefore prove to be due to differences in age and are not caused by uncontrolled factors

c) Wider application of the model.

In order to determine the number of observations necessary for estimating the curve parameters, a study was carried out on the control cross L2T × D10D using the same data. It appears essential to have at least four observations appropriately distributed around the point of inflection.

For the time being, there are few sets of data available which satisfy these conditions. Nonetheless, numerous observations show that the conclusions drawn for the L2T × D10D are of general value as far as the oil palm is concerned :

— an overall estimation of parameter k was calculated on 13 Déli × La Mé crosses planted at La Mé between 1959 and 1963. A mean value of 0.685 was obtained. The calculated growth curves are compatible with observations. However, studies made per cross come up with considerable variability for parameter k . These variations can be attributed to the genetic differences between crosses, or to inaccuracy due to an insufficient number of measurements, particularly on young trees. For the moment, it is difficult to say which is the major factor of the two ;

— table IV summarizes the results of three series of measurements taken on 24 Déli × La Mé crosses planted at La Mé. It confirms that after 9-10 years the growth rate slows down : the growth rate observed between the last two sets of measurements (R_{bc}) is always lower than that measured between the first two sets of measurements (R_{ab}).

Table V gives the growth observations carried out at the Aek Kwasan station (Sumatra, Indonesia) on the control cross L2T × D10D and on 3 Déli × La Mé reproductions, each represented by 8 crosses. There is a different growth curve for each planting material. The control cross has relatively low vertical growth up to 6 years. Its growth rate then accelerates : at 10 years, its height is significantly greater than that of the reproduction L2T Self × D115D Self. The control cross is characterized by a later take-off point. A good approximation of this point can be given by the intersection of the straight line joining the heights at 6 and 10 years to the age axis.

With the help of these few examples, we see that it is impossible to take into account all the oil palm's growth characteristics using a single measurement.

However, based on 3-4 measurements, the model proposed makes it possible to take into account the reduction in the growth rate of adult palms and the fact that the growth take-off date varies depending on the type of planting material.

3. — Environmental effects.

Table VI gives the height measurements taken on the cross L2T × D10D at four plantations. These measurements are compared to the height of the same cross at the same age at the La Mé station (as per the curve adjusted to 1979 data, Fig. 3). This comparison brings out important differences between stations (Table VI) which are related to the size of the water deficit.

There are also variations in vertical growth at the same station. Thus, the value given for Aek Kwasan at 6 years is the mean of 10 replications, for which the results vary from 1.16 m at the least favorable sites to 1.57 on the best soils.

The vertical growth of the oil palm is therefore greatly influenced by environmental effects, especially rainfall. In this respect, the model proposed, which only takes into account age as a factor of variation, could be completed by allocating to annual growth a correcting coefficient characterizing rainfall and the other environmental factors. However, this implies having prior good knowledge of the growth characteristics of several types of planting material in different environments.

IV. — DISCUSSION

Interest has been shown in the study of oil palm growth and its use as a breeding and selection criterion for a long time now, but it was only a few years ago that it became possible to have a general overview of its evolution with age. Numerous observations carried out on the IRHO control family (L2T × D10D) reveal a gradual reduction in vertical growth rate with age.

A simple growth model has been created to describe this evolution. It takes observations appropriately into account, whether considering the relations between height and age or those between vertical growth rate and age. It has been possible to apply it to the cross L2T × D10D and to twenty or so others. However, in many cases, too few measurements, or their poor distribution over time lead to inaccuracy in the parameters. In fact, to obtain an accurate adjustment, an adequate number of measurements have to be available (at least 4).

In its current form, this model does not take into account external factors such as rainfall. Nonetheless, it would be possible to introduce them as corrective factors, once better knowledge of them has been acquired

As far as the geneticist is concerned, the first selection criterion remains the maximum vertical growth rate, which can be estimated through measurements made around 10 years. It is also worth taking an interest in the growth rate reduction phase. The quicker it is, the longer the economic life of the plantation is extended. A third factor has to be taken into account — the homogeneity of the planting material : with identical average growth characteristics, non-harvestable trees will appear more quickly in a heterogeneous cross than in a homogeneous cross.

The programming of replantings requires that the same factors be taken into account. This can be achieved by taking measurements several times on the same sample of trees appropriately distributed throughout the block involved. This will make it possible to determine on what date a certain proportion of trees (e.g. 30 p. 100) will have reached the maximum acceptable height. It will be possible to improve the accuracy of this estimation through subsequent measurements, taken once again on the same sample. ■